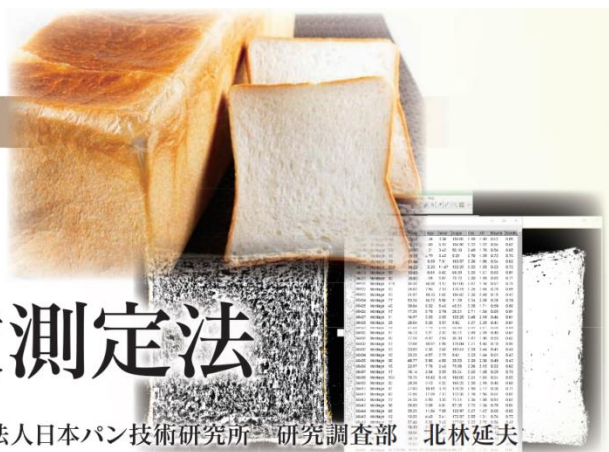


## JIBはみだし授業

日本パン技術研究所教育コースの興味深いテーマを解説します。

# 画像解析を用いた パンの気泡数測定法

一般社団法人日本パン技術研究所 研究調査部 北林延夫



### 1. はじめに

パンの気泡（すだち）はパンの食感に多大な影響を及ぼす極めて重要な要素のひとつであるが、その検査はパンの製造現場や関連の製パン研究機関などでは依然として目視による主観的評価手法で行われている。

一方、最近になって、気泡構造の面からパンの品質管理、製品開発、あるいは研究の高度化を図るために、気泡構造を客観的に数値化するいくつかの画像解析システムが開発されているが、汎用システムとしての実用化は進んでいないのが現状である。

当研究所では、これまで報告された計測システムの問題点を参考に、パンの気泡構造を光学的に測定し数値化する汎用性のある新しい計測システムの開発を進めており、今回の「はみだし授業」で、その概要をご紹介します。

### 2. システム開発の経緯

従来行われてきた、スキャナ画像を用いた画像解析によるパン内相の評価手法は、測定精度が低く、実用性に乏しかった。

この欠点を改善すべく当研究所ではパン切片面の気泡数と、パン内相の評価点との相関性に着目し、パン切片面の気泡数を正確に測定する高解像度の画像解析システムを製作し、鋭意研究を行ってきた。

そこで開発したシステムは、パンの気泡構造の測定、解析に特化した計測システムの構築を目的に、新規に設計、製作した高精度な光源回転型撮影装置と、汎用の画像解析ソフトウェアを組み合わせた独創的なシステムである。<sup>(1)</sup> しかし、研究を進めるうちに、日本のパンの気泡構造は非常に細かく、解像度（撮影倍率）を大きくする必要が生じた。その結果、視野（撮影面積）は狭く、試料の全体像をとらえることが難しくなった。更に、目視では判別不可能な小気泡も測定対象となることに起因すると思われる問題があることが判明した。例えば、目視による評価において減点対象となるいわゆる傷み、詰まりと呼ばれる部分には、微小気泡が凝集して多数存在していることから、気泡数と目視評価点との相関が小さいことなどである。これらの問題点に対し、スライス全面を、より目視に近い感覚で数値化できないか検討を行った。

従来のスキャナ画像を用いたシステムを用い、パンのスライス面の測定を行う上での最大の障害は、画像から目的部分（ここでは気泡によるくぼみ）を抽出するための画像の2値化、即ち周囲と比較して暗い部分を取り出す操作が、パン自体、あるいは画像の不規則な明暗によって影響を受け、正確な気泡孔の画像として認識できなかったことにある。

(写真2)

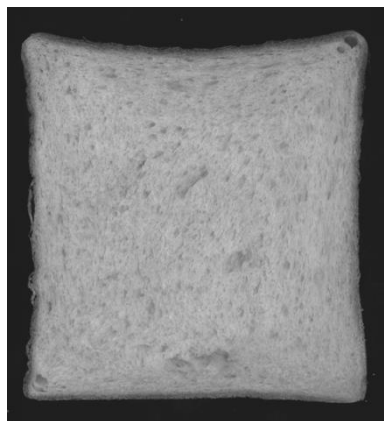


写真1 スキャナ(原)画像

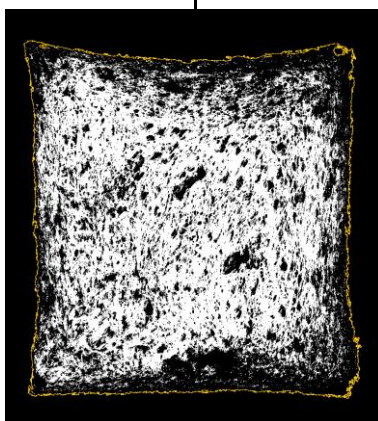


写真2 2値化画像

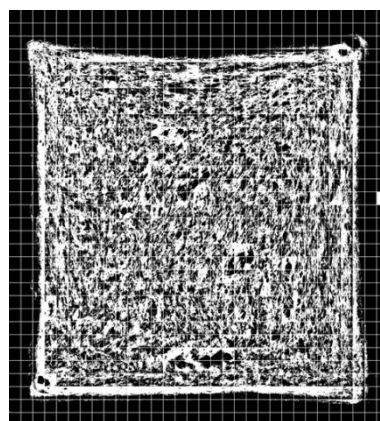


写真3 多分割画像処理法

この命題に対し、「多分割画像処理法」を考案し、画面を多数の領域に分割し、各々の領域ごとに閾値を決定し、2 値化を行った後、それらの画像を再合成した。この方法は一部の従来法でも用いられて来たが、今回はシステムのデータ処理能力と測定精度の確保から 32 × 32 の 1024 面と細分化し、処理を行った。(写真 3)

表 1 システム新旧比較表

	旧システム <sup>(1)</sup>	開発中のシステム
撮影装置	開発設計品 光源移動型	市販スキャナー 多分割画像処理法
有効画素数	640×480 30万画素	7040×6400 4000万画素
解像度	950dpi	1200dpi
分解能	27 $\mu$ m	21 $\mu$ m
測定面積	12×17mm	A4全面(最大)
検出気泡数 (角型食パン)	300個/cm <sup>3</sup>	500個/cm <sup>3</sup>
画像処理ソフト	ImageJ 1.51 (N.I.H.,USA)	
価格	約150万(資材費のみ)	約30万

撮影解像度は最も気泡数の多い角型食パンの測定に十分な精度の確保を目的に、1200dpi、画像の分解能は 21  $\mu$ m と、前述の画像解析システム<sup>(1)</sup> の解像度 950dpi、27  $\mu$ m より大きく設定、

また、画像サイズは最大約 140 メガピクセル(A 4 サイズ) と大幅に拡大した。(表 1)

これにより、スライス全面の気泡構造の数値化が可能となり、目視による内相評価法、いわゆる「見た目」との整合性をより高めることに視点を置いたシステムとなっている。

### 3. システムの構成

- ① スキャナ CANON Canoscan 9000F II
- ② PC CPU i7-6700 + RAM 32G + GPU GTX960+ 512GB SSD + HDD 2TB, OS Windows10 pro
- ③ ソフトウェア ImageJ v1.51 (NIH.,USA) + Microsoft Excel 2010

### 4. 測定方法の概要と手順

手順の概略を図 1 に示す 個々の処理操作の詳細は、パン技術 No861 にて報告済。また、ImageJ 公式サイトにソフトウェアの使用方法が詳述されているのでご参照されたい。

URL :

<https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/index.html>

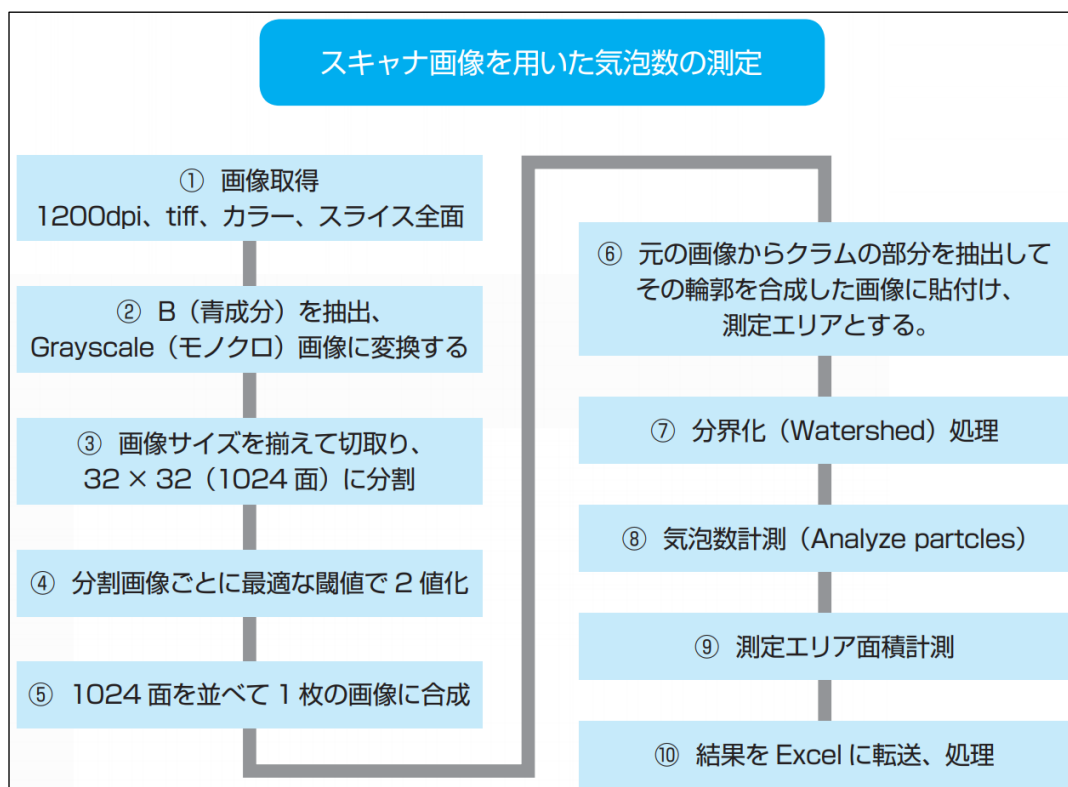


図 1 測定方法手順の概略

## 5. 測定例

### ① 製法による気泡数の差

#### 角型食パン、直捏法/中種法

2種類の製法の異なるプルマン型食パンを調製し、その気泡数を測定した。製法は表2の通り、サンプルは各試験区とも、端部から3～7枚目の5枚を使用、結果は5枚の平均値、グラフ(図2)中の誤差範囲はそれらの標準偏差を示す。

中種法による食パンは直捏法によるものと比較して気泡数が多い結果となった。

### ② イースト添加量による気泡数の差

#### ワンローフ食パン、1.5/2/2.5%、直捏法

イースト添加量を3段階に変えて調製した直捏法ワンローフ型食パンの気泡数を前項と同様に測定した結果を図3に示す。また、試料の製法を表3に示す。

イースト2%の試験区の気泡数が一番多かった。

表2 プルマン型食パンの製法

原材料名(標準直捏法準拠)(%)		工程	
パン用1等強力粉	100	ミキシング条件	縦型 L4 ML3 MH3 ↓ ML3 MH3
生イースト	2	捏上温度	27°C
生地改良剤(Cフード)	0.1	発酵条件	27°C 75%RH 80分 P 30分
上白糖	4	分割重量	260g×6玉
食塩	2	成形	ベンチ20分、モルダー使用 U字同方向
脱脂粉乳	2	ホイロ	38°C、85%RH、50分～
ショートニング	4	焼成	リールオープン使用
加水量	68		210°C 40分

原材料名(標準中種法準拠)(%)		工程	
パン用1等強力粉	70	ミキシング条件	縦型 L4 M0.5
生イースト	2	捏上温度	24°C
生地改良剤(Cフード)	0.1	発酵条件	27°C、80%RH 4h
加水量	40		

原料名(本捏)		工程	
パン用1等強力粉	30	ミキシング条件	縦型 L3 ML3 MH1 ↓ L1 ML3 MH2～
上白糖	4	捏上温度	27°C
食塩	2	発酵条件	27°C 80%RH 30分
脱脂粉乳	2	分割重量	260g×6玉
ショートニング	4	成形	ベンチ20分、モルダー使用、U字同方向
加水量	25～	ホイロ	38°C、85%RH、50分～
		焼成	リールオープン使用
			210°C 40分

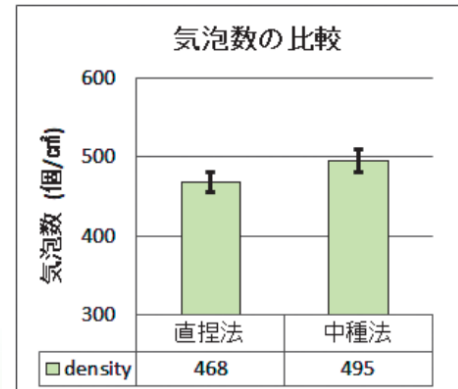


図2 製法の異なるパンの気泡数の比較

表3 ワンローフ型食パンの製法

原材料名(標準直捏法準拠)(%)		工程	
パン用1等強力粉	100	ミキシング条件	縦型 L4 ML3 MH3 ↓ ML3 MH3
生イースト	1.5/2/2.5	捏上温度	26.5°C
生地改良剤(Cフード)	0.1	発酵条件	27°C 75%RH 80分 P 30分
上白糖	4	分割重量	450g(ワンローフ)
食塩	2	成形	ベンチ30分、モルダー使用
脱脂粉乳	2	ホイロ	38°C、85%RH、型上15mm
ショートニング	4	焼成	リールオープン使用
加水量	68		210°C 25分

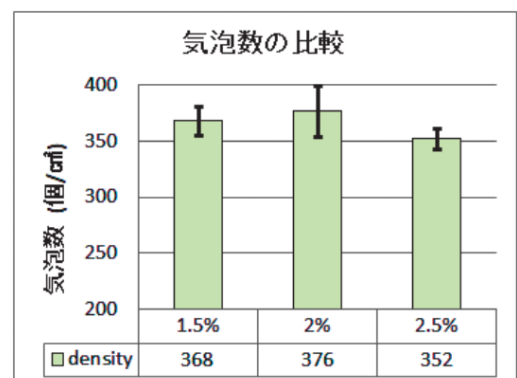


図3 イースト量の異なるパンの気泡数の比較

## 6. おわりに

日本の食パンは気泡構造が微細で、それらを識別するには非常に高い解像度が必須であることは容易に想像がつく。しかし、高解像度のスキャナ画像はファイルサイズが巨大なため、システムに高いデータ処理能力が必要となる。

これに対し、高解像度の画像を撮影可能なスキャナや、画像を処理するためのコンピュータの進化は早く、最近では極めて高性能のものが安価に入手出来る。

また、今後も機器の進化や画像解析手法の改善による機能向上が可能と思われることから、近い将来、本システムの実用化は有望であると考え、当研究所では、今後、従来から行われている目視による内相評価との間の相関性の検証と、実用性の向上を念頭に、システムの更なる改良を推進している。

## 7. 資料

- 1) 「ベーカリー製品の切片面解析装置」  
特許 第 4632448 号 , 2010